

La fonction ordonnancement

1. La fonction ordonnancement

C'est la fonction de l'entreprise chargée de gérer les temps d'activités. En effet, elle occupe une position chronologique dans le déroulement d'une intervention entre les méthodes et la réalisation; La fonction méthode affecte une durée de travail pour une tâche: c'est le temps alloué, la fonction ordonnancement planifie cette tâche, c'est à dire l'heure (**h**) du jour (**J**) où elle doit débiter et la fonction réalisation, au moment choisi par l'ordonnancement, suivant les prescriptions des méthodes, la met en œuvre.

L'ordonnancement utilise un vocabulaire spécifique qu'il est indispensable de définir avant d'aborder les méthodes à utiliser pour gérer les activités de maintenance. La gestion des stocks et le magasin pourront être rattachés à l'ordonnancement quand ils font partie des responsabilités du service maintenance.

L'ordonnancement est chargée de :

- Calculer l'ensemble des besoins en main-d'œuvre ;
- Répartir le personnel en fonction des délais ;
- S'engager sur des délais ;
- Suivre l'avancement des travaux ;
- Planifier le préventif ;
- Contrôler et regrouper les informations ;
- S'assurer de la présence de stocks.

La figure ci-dessous montre que l'ordonnancement fait la comparaison entre les besoins et les moyens.

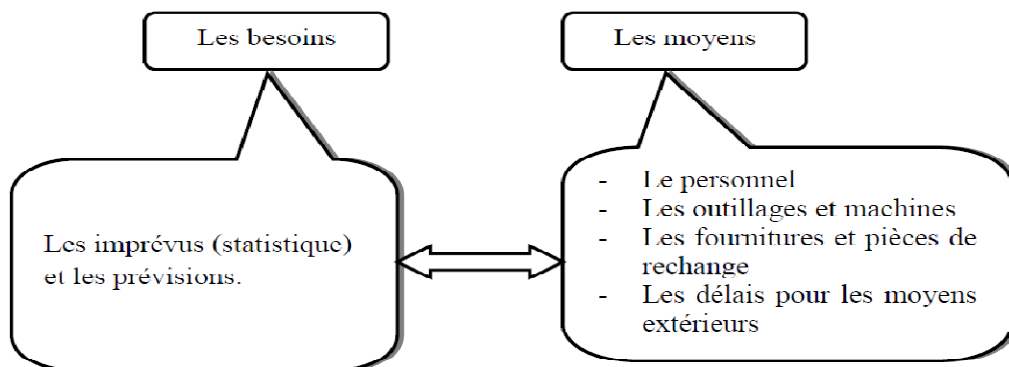


Figure 1. La relation entre les besoins et les moyens de la fonction ordonnancement.

2. Terminologies de l'ordonnancement

2.1 Capacité de charge

Elle est estimée par le potentiel d'heures qu'une équipe représente, dans les horaires normaux de travail. C'est une valeur facile à estimer et sensiblement constante.

Exemple : 12 ouvriers représentent une capacité de charge de $12 \times 35 \text{ h} = 420$ heures par semaine.

2.2 Charge

Elle est matérialisée par le cumul des temps prévus affectés à une équipe (ou un technicien) pour une période de temps de référence nommée unité d'ordonnancement.

2.3 Surcharge

Elle se manifeste quand la charge est supérieure à la capacité (sureffectifs).

2.4 Sous-charge

Elle se manifeste quand la charge est inférieure à la capacité (sous-effectifs).

2.5 Tâche

Il faut signaler que la tâche est le déroulement dans le temps d'une action; elle permet au projet d'avancer vers son état final. On attribue une lettre à chaque tâche afin d'alléger le schéma. La tâche a des propriétés d'ordre temporel qui qualifient le temps de réalisation : la durée, exprimée en minutes ou bien heures, jours, semaines, mois, etc.

En maintenance, c'est une intervention caractérisée par une durée propre, estimée par les méthodes, et portée sur l'ordre de travail. La situation dans le temps de cette tâche entraîne la définition des termes suivants :

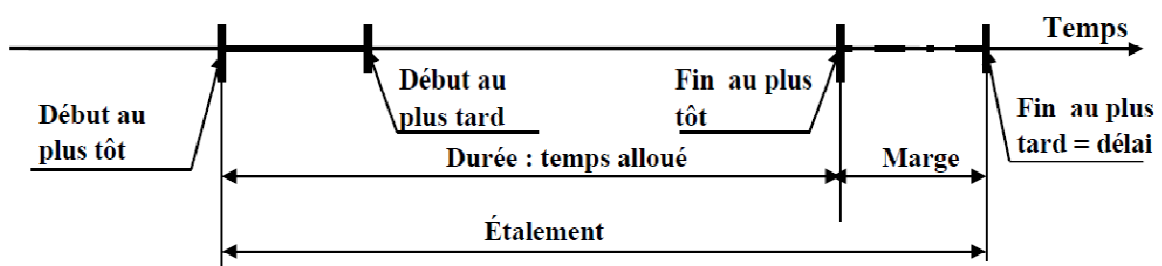


Figure 2 .Représentation d'une tâche.

2.6 Projet

C'est un ensemble de tâches ; chaque tâche étant une phase, c'est à dire un élément de décomposition du projet auquel les méthodes ont affecté une durée propre.

Exemples : révision annuelle d'un process, arrêt d'une tranche de centrale nucléaire,...

2.7 Chemin critique

C'est l'ensemble des tâches « en série » qui conditionnent la durée totale d'un projet.

4.2.8 Délai

C'est une contrainte technique ou commerciale s'appliquant à l'achèvement d'une tâche (fin au plus tard) ou d'un projet.

3 Les 5 niveaux d'ordonnancement

3.1 1^{er} niveau : prévisions à long terme

Il correspond à la notion de « plan de charge » et se situe à un horizon compris entre 1 et 5 ans. Les prévisions concernent la direction et sa politique ; elles permettent, en fonction des prévisions économiques de l'entreprise, de prévoir globalement une charge de travail ; donc du personnel et des investissements en matériels. Ces prévisions impliquent la définition d'une politique de maintenance adaptée à ces investissements.

3.2 2^{ème} niveau : prévisions à moyen terme

La période qui se situe entre 1 à 12 mois concerne précisément le bureau d'ordonnancement. Cette période est caractérisé par :

- L'enregistrement des commandes;
- La possibilité d'avoir un planning des charges mensuelles
- L'approvisionnement des stocks est lancé, ainsi que les pièces et les outillages à fabriquer ou à modifier.

3.3 3^{ème} niveau : le lancement (prévisions à court terme)

Il concerne le bureau de lancement, charnière entre la prévision et l'exécution. Il gère le « planning de lancement » et déclenche la mise à disposition du chef d'équipe des matières et des outillages, ainsi que des préparations des méthodes et des procédures de sécurité (consignations).

3.4 4^{ème} niveau : répartition du travail (futur immédiat)

C'est la mise en main, par le chef d'équipe, des tous les éléments permettant aux exécutants de faire le travail dans les conditions de temps, qualité et sécurité prévues.

3.5 5^{ème} niveau : contrôle de l'avancement

Le respect des délais nécessite un contrôle permanent de l'avancement des travaux, une étude des écarts par rapport aux prévisions et une adaptation éventuelle.

4. Ordonnancement par la méthode de GANTT

4.1 Mission et rôle de la méthode de GANTT

Un projet comporte un nombre de tâches plus ou moins grand à réaliser dans les délais accordés et selon un agencement bien déterminé. Le diagramme de GANTT est un outil permettant de planifier le projet et de rendre plus simple le suivi de son avancement.

Il faut noter que le diagramme de GANTT est un planning présentant une liste de tâches en colonne et en abscisse l'échelle de temps retenue. La mise en œuvre de technique de planification nécessite que les tâches soient identifiées, quantifiées en termes de délais, de charges ou de ressources et que la logique de l'ensemble des tâches ait été analysée.

Afin de mener à bien la réalisation de cet outil, il faut donc procéder comme suit :

- Déterminer et structurer la liste des tâches à réaliser;
- Estimer les durées et les ressources: il faut remplir un tableau présentant, pour chaque tâche, la durée de celle-ci et les ressources affectées (matériels et personnels). L'unité de temps pour exprimer la durée est fonction du type du projet réalisé. Elle peut aller de la minute à l'année ;
- Réaliser le réseau logique: le réseau doit reprendre les hypothèses de priorités des tâches. Il se présente souvent sous la forme de tâches reliées entre elles par des liens logiques. Pour chaque tâche, il est primordial de trouver les relations d'antécédence et de succession. Une fois le réseau tracé, on retrouvera la chronologie du projet ;
- Tracer le diagramme de GANTT: avec en abscisse l'échelle de temps et en ordonnée la liste des tâches, il faut tracer un rectangle d'une longueur proportionnelle à sa durée, le tout suivant la logique d'ordre d'exécution du réseau. Il peut apparaître des tâches se réalisant pendant la même période. En effet, c'est un peu le but recherché car plus les tâches pourront se faire simultanément, plus la durée du projet sera courte et plus le coût du projet risque de baisser. Il faut toutefois vérifier la disponibilité des ressources en regardant dans le tableau d'affectation, les ressources utilisées plusieurs fois.

4.2 Exemple de représentation GANTT

On cherche dans cet exemple à ordonnancer la réalisation des 5 tâches d'un projet ayant les caractéristiques suivantes :

Tâche	Tâche antérieure	Durée (j)
A	aucune	3
B	A	6
C	B	4
D	A	7
E	D	5

Tableau 1 Tableau des antécédents des tâches.

Le diagramme de GANTT se présente sous forme d'un tableau quadrillé où chaque colonne correspond à une unité de temps et chaque ligne à une opération à réaliser.

On définit une barre horizontale pour chaque tâche, la longueur de celle-ci correspondant à la durée de la tâche. La situation de la barre sur le graphique est fonction des liens entre les différentes tâches.

Tâche \ Temps	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															

Tableau 2 Diagramme de Gantt du projet.

5 Ordonnancement par la méthode PERT

5.1 Mission et rôle de la méthode PERT

La méthode PERT est une méthode de gestion du projet visant à prévoir les propriétés d'un projet en termes de temps, délais et coûts.

Il a pour but de découper un projet en un ensemble d'actions appelées tâches et de les représenter sous forme graphique selon un graphe de dépendances.

Il est important de signaler que, grâce à la chronologie et l'interdépendance de chacune des tâches, on structure ainsi l'ensemble du projet et on peut alors planifier la réalisation de chacune des tâches les unes par rapport aux autres, afin de minimiser les délais, ainsi que réduire l'impact des retards lors de l'exécution de différentes tâches.

Exemple : Changer un pneu crevé d'une roue, les tâches sont données par le tableau suivant.

Tâche	Tâche antérieure	Durée (min)
A	aucune	5
B	A	3
C	B	1
D	C	4
E	D	3

Tableau 3 Tableau des antériorités des tâches.

Exprimée grâce à la méthode PERT, ce projet prendra la forme suivante :

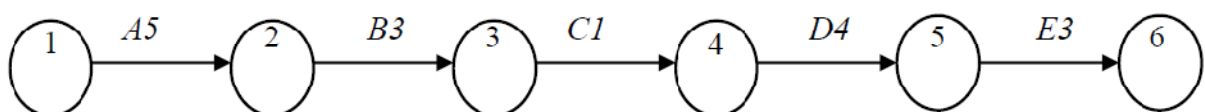


Figure 3 Exemple de représentation d'un projet suivant la méthode PERT.

5.2 Les éléments constitutifs du réseau PERT

5.2.1 Tâche

La tâche via la méthode PERT est représentée par une flèche, précisée par son nom et sa durée.



Figure 4 Représentation d'une tâche.

Une tâche ne peut être représentée qu'une seule fois ; inversement, une flèche ne peut représenter qu'une seule tâche. La longueur, la courbure et la forme des flèches sont sans signification particulière.

5.2.2 Étape

Une étape indique le début et la fin d'une tâche. On numérote les étapes afin de clarifier le schéma. L'étape a des propriétés d'ordre temporel : dates au plus tôt et au plus tard, exprimées en minutes, heures, etc.

Exprimée via la méthode PERT, une étape est représentée par un rond, découpé en 3 zones, précisé par son numéro, ainsi que ses dates au plus tôt et au plus tard.

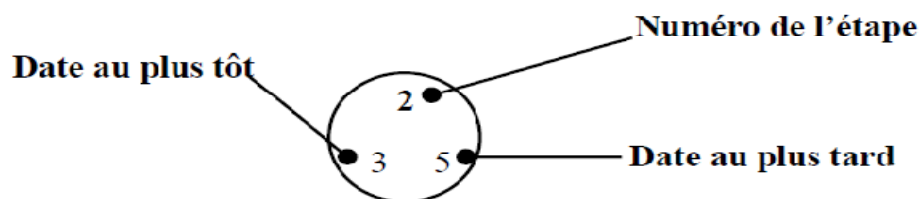


Figure 5 Représentation d'une étape.

La date au plus tôt est le délai minimum, depuis le début du projet, nécessaire pour atteindre l'étape considérée.

La date au plus tard est la date maximum, depuis le début du projet, à laquelle doit être atteinte l'étape considérée pour que le délai de l'ensemble du projet ne soit pas modifié.

5.2.3 Réseau

Il faut noter qu'un réseau est l'ensemble des tâches et des étapes formant l'intégralité de la planification du projet.

Deux tâches qui se succèdent immédiatement dans le temps sont représentées par deux flèches qui se suivent séparées par une étape.

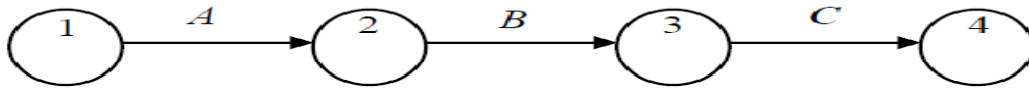


Figure 6 Représentation d'un réseau PERT.

5.2.4 Règle de représentation graphique

Un réseau possède toujours une seule étape de début ainsi qu'une seule étape de fin.

Toute tâche a au moins une étape de début et au moins une étape de fin; une tâche ne peut démarrer que si la tâche qui la précède est terminée.

On ne peut pas avoir 2 tâches différentes qui ont à la fois même étape de début et même étape de fin.

Deux tâches qui commencent en même temps et s'exécutent en même temps sont dites simultanées, et sont représentées chacune par un flèche dont le point de départ est une seule et possédant même étape.

Exemple :

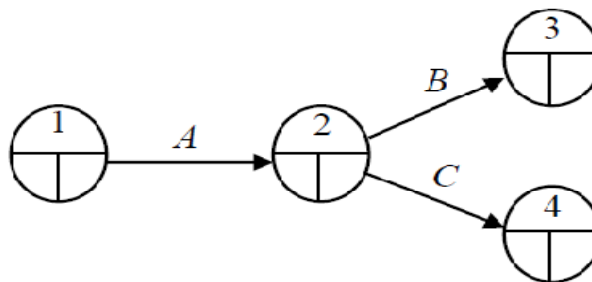


Figure 7. Représentation de tâches simultanées.

Les tâches B et C sont simultanées et suivent la tâche A : B et C ne pourront débuter que lorsque A sera complètement achevée.

Remarque : Évidemment, ce principe peut s'appliquer à plus de 2 tâches simultanées.

Deux tâches qui s'exécutent en même temps et s'achèvent en même temps, sont dites convergentes et sont représentées chacune par une flèche dont le point d'arrivée est une seule et même étape.

Exemple :

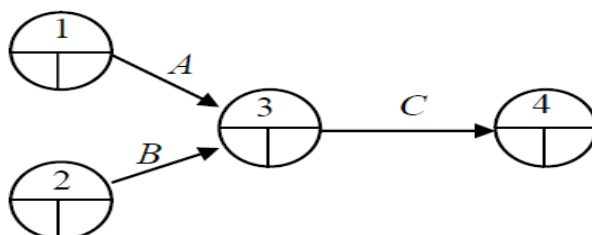


Figure 8 Représentation de tâches convergentes.

Les tâches A et B sont convergentes et précèdent la tâche C : C ne pourra débiter que lorsque A et B seront complètement achevées.

Remarque : Ce principe peut bien évidemment s'appliquer à plus de 2 tâches convergentes.

Lorsque deux tâches convergentes précèdent une ou plusieurs tâches en commun, et que l'une de ces deux tâches convergentes précède également une tâche (ou plusieurs) que l'autre tâche convergente ne précède pas, il est nécessaire d'avoir recours à une tâche fictive.

L'intérêt de la tâche fictive est de préciser la dépendance chronologique qu'il existe entre certaines tâches de manière qualitative (avant/après) mais pas de manière quantitative : elle possède donc une durée qui est considérée comme nulle, et n'induit aucun retard sur le délai final.

Une tâche fictive est représentée par une flèche à trait pointillé, sans aucune indication de lettre (ou nom) et de durée.

Exemple :

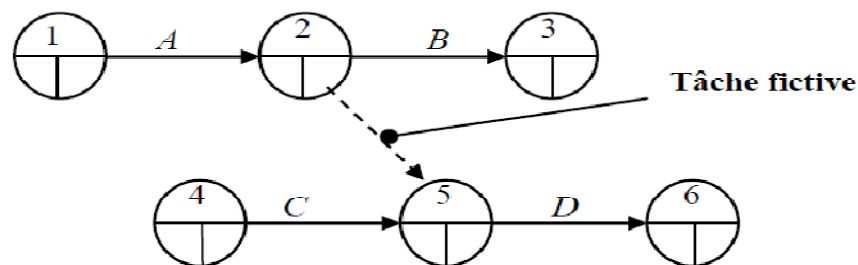


Figure 9. Représentation d'une tâche fictive.

Les tâches A et C sont convergentes et précèdent la tâche D. C ne précède que D, mais, en revanche, A précède non seulement D, mais aussi B. On précise alors cette dernière condition à l'aide d'une tâche fictive.

6. Étude d'un exemple: planification via la méthode PERT

6.1 Construction d'un réseau PERT

La construction d'un réseau PERT, et son exploitation, supposent d'effectuer les étapes suivantes :

1. Déterminer la liste des tâches nécessaires à la réalisation du projet et estimer leur durée ;
2. Déterminer les dépendances logiques entre les tâches ;
3. Dessiner le diagramme PERT : mise à niveau plus la construction du graphe PERT ;
4. Calculer pour chaque nœud la date au plus tôt
5. Repartir de la date finale et calculer pour chaque nœud la date au plus tard ;
6. Définir le chemin critique.

6.2 Contraintes d'antériorité des tâches

L'analyse du projet et de l'ensemble des tâches le constituant nous amène à définir les relations chronologiques d'antériorité des tâches; ces résultats sont regroupés dans le tableau suivant, dans la colonne tâche(s) antérieure(s) :

Tâche	Tâche(s) antérieure(s)	Durée
A	Aucune(s)	3
B	A	1
C	A	5
D	B	6
E	B	4
F	C, I, D	2
G	E, F	9
H	Aucune(s)	5
I	H	8
J	H	2
K	I	3
L	J, K	7

Tableau 4 Liste des tâches et des tâches antérieures.

6.3 Construire le graphe du réseau PERT par l'approche cartésienne

On pourrait partir directement du réseau PERT, mais l'utilisation de l'approche cartésienne permet d'être plus général dans l'établissement des chronologies et ainsi de faciliter l'élaboration du calendrier des tâches.

On utilise l'approche cartésienne pour l'élaboration du diagramme de PERT, on commence par la construction du tableau de gestion d'avancement des tâches; celui-ci reprend, dans un premier temps, les informations de tâche(s) antérieure(s) par rapport à la tâche courante. Puis il va nous permettre de définir des niveaux d'antériorité au sein de l'ensemble des tâches du projet. Enfin, il nous permettra de mettre en place le planning.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A												
	B	×											
	C	×											
	D		×										
	E		×										
	F			×	×					×			
	G					×	×						
	H												
	I								×				
	J								×				
	K									×			
	L										×	×	

Tableau 5 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 0).

On précise les rapports d'antériorité en renseignant le tableau suivant la règle *Pour réaliser la tâche ... il faut avoir réalisé la ou les tâche(s) ...*. Puis on détermine le nombre de tâches antérieures à la tâche considérée et on indique donc dans la colonne ni le nombre de croix de chacune des lignes.

Une valeur de 0 spécifie donc que la tâche concernée n'a pas ou plus de tâches antérieures qui n'ont pas été exécutées et qu'elle peut donc démarrer.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	n1
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A													<i>0</i>
	B	×												<i>1</i>
	C	×												<i>1</i>
	D		×											<i>1</i>
	E		×											<i>1</i>
	F			×	×					×				<i>3</i>
	G					×	×							<i>2</i>
	H													<i>0</i>
	I								×					<i>1</i>
	J								×					<i>1</i>
	K									×				<i>1</i>
	L										×	×		<i>2</i>

Tableau 6 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 1).

Ici, les tâches A et H n'ont pas d'antécédents, elles pourront donc démarrer au niveau d'antériorité n1.

Ensuite, ayant déterminé quelles sont les tâches pouvant démarrer à ce niveau d'antériorité, on va éliminer celles-ci du tableau en barrant les colonnes correspondantes. On va alors introduire le niveau d'antériorité suivant, et réitérer le processus de comptage de tâches antérieures; et ce ainsi de suite jusqu'à avoir traité toutes les tâches.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>												n1	n2
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A													0	
	B	x												1	0
	C	x												1	0
	D		x											1	1
	E		x											1	1
	F			x	x					x				3	3
	G					x	x							2	2
	H													0	
	I								x					1	0
	J								x					1	0
	K									x				1	1
	L										x	x		2	2

Tableau 4.7 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 2).

Les tâches B, C, I et J démarrent au niveau n2.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>												n1	n2	n3
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L			
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A													0		
	B	x												1	0	
	C	x												1	0	
	D		x											1	1	0
	E		x											1	1	0
	F			x	x					x				3	3	1
	G					x	x							2	2	2
	H													0		
	I								x					1	0	
	J								x					1	0	
	K									x				1	1	0
	L										x	x		2	2	1

Tableau 8 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 3)

Les tâches D, E et K démarrent au niveau n3.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>															
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	n1	n2	n3	n4
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A													0			
	B	x												1	0		
	C	x												1	0		
	D		x											1	1	0	
	E		x											1	1	0	
	F			x	x					x				3	3	1	0
	G					x	x							2	2	2	1
	H													0			
	I								x					1	0		
	J								x					1	0		
	K									x				1	1	0	
	L										x	x		2	2	1	0

Tableau 9 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 4).

Les tâches F et L démarrent au niveau n4.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>																
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	n1	n2	n3	n4	n5
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A													0				
	B	x												1	0			
	C	x												1	0			
	D		x											1	1	0		
	E		x											1	1	0		
	F			x	x					x				3	3	1	0	
	G					x	x							2	2	2	1	0
	H													0				
	I								x					1	0			
	J								x					1	0			
	K									x				1	1	0		
	L										x	x		2	2	1	0	

Tableau 10 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 5).

La tâche G démarre au niveau n5, c'est le niveau final pour cet exemple.

Nous allons maintenant représenter les deux diagrammes correspondant à l'exemple traité en considérant que le début du projet est fixé au mardi 28 août.

On pourrait obtenir en première étape le graphe suivant :

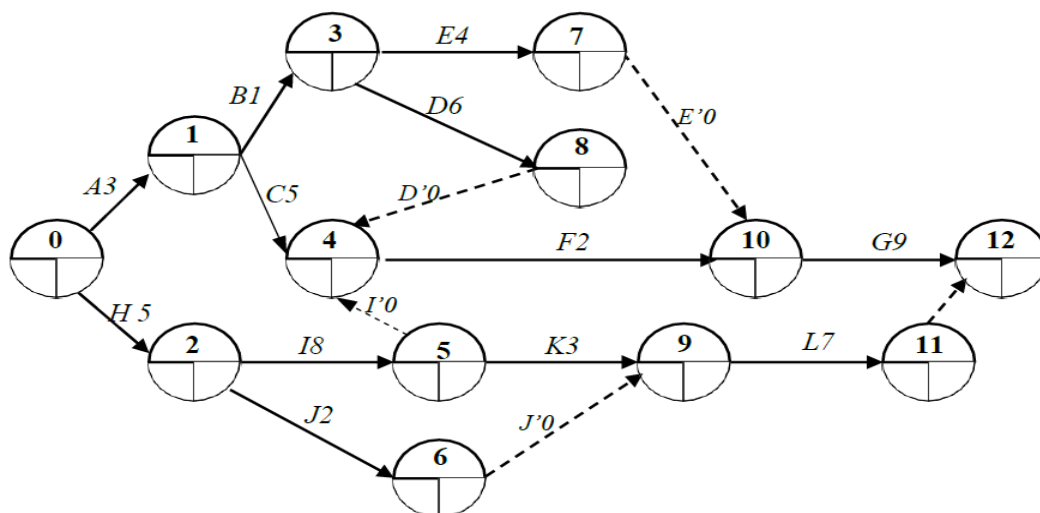


Figure 10 Réseau PERT obtenu sans tâches fictives inutiles.

Après simplifications des tâches fictives inutiles, on obtient le graphe définitif suivant :

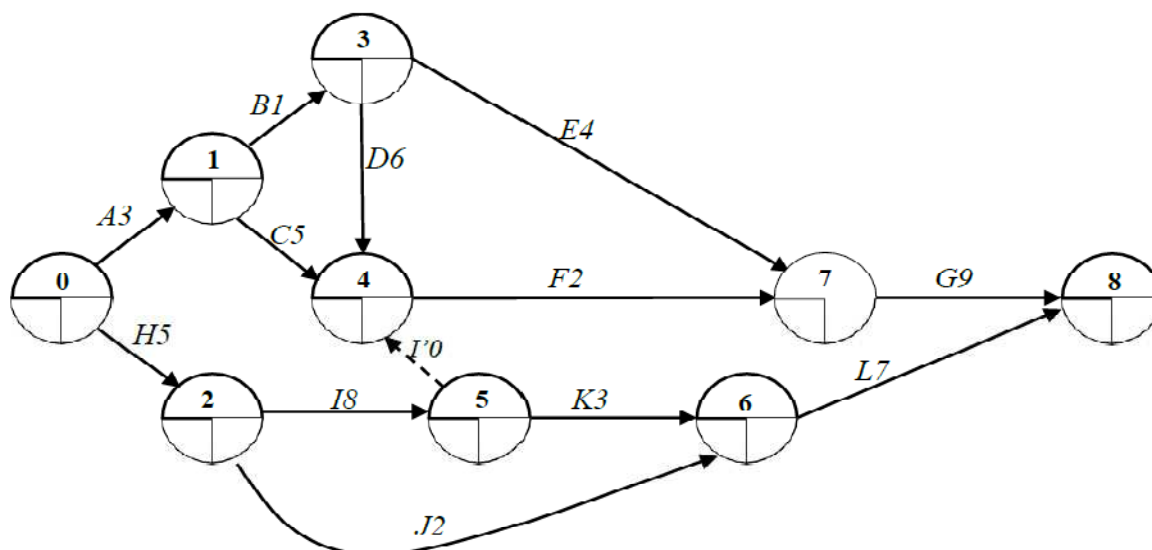


Figure 11 Réseau PERT obtenu sans tâches fictives inutiles.

6.4 Calcul de l'ordonnancement au plus tôt, et plus tard des tâches

On associe au problème d'ordonnancement central un graphe dont les sommets représentent les diverses étapes.

On ajoute un nœuds (0) qui correspond à la date de début du projet et un nœuds (n) qui correspond à la date de fin du projet.

Les arcs du réseau représentent les diverses contraintes sous la formes $ti + d_{ij} \leq t_j$,

avec d_{ij} est la durée entre deux étapes i et j tel que l'étape j se dispose chronologiquement après l'étape i.

L'ordonnancement au plus tôt détermine les dates de début au plus tôt de différentes étapes du projet en partant du nœud de début de projet c'est-à-dire le nœuds (0). Le calcul de la date de début au plus tôt pour l'étape j en fonction de l'étape i, noté $\underline{t}_j$ s'écrit donc :

$\forall (i, j) (i:0 \rightarrow (n-1) \text{ et } j:1 \rightarrow n)$

$$\underline{t}_j = \max_{(i < j)} (\underline{t}_i + d_{ij})$$

Pour calculer l'ordonnancement au plus tard, on part du nœud fin de projet (n) pour lequel la date de début au plus tard coïncide avec la date de début au plus tôt. Le calcul de la date de début au plus tard pour l'étape i en fonction de l'étape j, noté $\bar{t}_i$, s'écrit donc :

$\forall (i, j) (i:0 \rightarrow n-1 \text{ et } j:1 \rightarrow n)$

$$\bar{t}_i = \min_{(i < j)} (\bar{t}_j - d_{ij})$$

La figure 12 représente la configuration finale du réseau PERT. On peut maintenant calculer les temps au plus tôt et au plus tard de chaque étape. Pour ce faire, appliquons simplement les formules vues précédemment pour les calculs des dates au plus tôt et au plus tard des différentes étapes.

Remarque :

Deux étapes qui se suivent l'une après l'autre peut être liées d'au moins par une tâche.

6.5 Calcul des marges

La marge relative à une tâche se détermine en considérant la valeur des dates au plus tôt et au plus tard des étapes entourant la tâche. Cette marge vaut alors la date au plus tard de l'étape postérieure à laquelle on retranche la date au plus tôt de l'étape antérieure ainsi que la durée de la tâche elle-même. La marge d'une tâche liée entre deux étapes i et j s'écrit donc:

$\forall (i, j) i:0 \rightarrow (n-1) \text{ et } j:1 \rightarrow n$

$$m_{ij} = \bar{t}_j - \underline{t}_i - d_{ij}$$

Dans le cadre de notre exemple, on a

Tâche	Durée de la tâche	Marge
A	3	$6-0-3=3$
B	1	$7-3-1=3$
C	5	$13-3-5=5$
D	6	$13-4-6=3$
E	4	$15-4-4=7$
F	2	$15-13-2=0$
G	9	$24-15-9=0$
H	5	$5-0-5=0$
I	8	$13-5-8=0$
J	2	$17-5-2=10$
K	3	$17-13-3=1$
L	7	$24-16-7=1$

Tableau 11 Calcul des marges.

6.6 Détermination du chemin critique

On parle du mot « chemin » car il part de l'étape initiale et mène à l'étape finale via une suite de différentes tâches. Il est dit « critique » car tout retard pris sur l'une des tâches constituant ce chemin aura une incidence directe sur la date d'achèvement du projet.

Pour savoir quel est le chemin critique d'un projet, il suffit de répertorier toutes les tâches ayant une marge nulle.

Dans notre exemple, les tâches ayant une marge nulle sont : F, G, H et I.

Le chemin critique coloré en vert passe (voir figure 4.12) donc successivement par les tâches H, I, F et G. Soient donc les étapes 0, 2, 5, 4, 6 et 8.

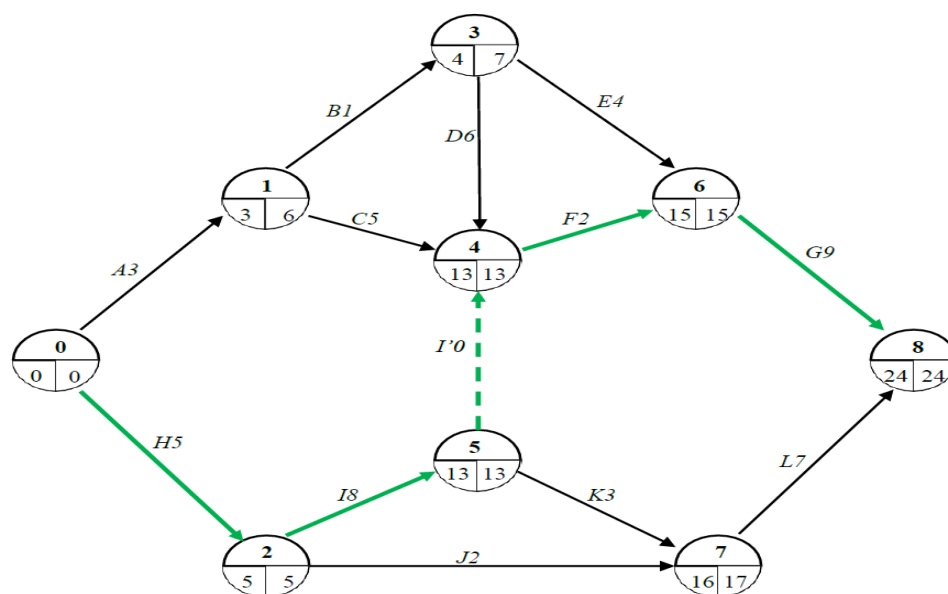


Figure 12 Réseau PERT du projet avec les dates au plus tôt et au plus tard.

